

a) Si la naissance de nouveaux univers est possible, par exemple par la création de trous noirs se détachant complètement de leurs univers d'origine,
 b) et si les paramètres des univers ainsi créés varient légèrement et aléatoirement d'un univers à ses descendants,
 c) il en résulte un taux de reproduction différent d'un univers à l'autre, selon ses caractéristiques,
 d) donc se trouveront sélectionnés et favorisés les univers ayant les meilleures capacités à créer de nouveaux univers descendants.

e) De ce fait, il n'est pas étonnant que nous observions des valeurs des paramètres fondamentaux de notre univers qui correspondent à un taux important de production de trous noirs.

Ce pouvoir explicatif d'un hypothétique mécanisme de sélection naturelle à l'échelle cosmique ne répond qu'à la question portant sur l'ajustement fin des paramètres de notre physique favorisant la création de trous noirs. C'est intéressant, mais cela ne répond pas à la question bien plus importante de l'ajustement fin des paramètres de notre physique à l'apparition de la vie, et plus généralement de la complexité et de l'intelligence.

Cet ajustement fin, examiné depuis longtemps par les cosmologistes, a donné lieu à des travaux scientifiques et des réflexions philosophiques. C. Vidal livre une discussion assez critique de ce thème qui le conduit à la conclusion que c'est un sujet délicat, logiquement, philosophiquement et donc scientifiquement, qui exige qu'on le traite expérimentalement à l'aide de tests, par exemple en simulant d'autres mondes physiques. Malheureusement, ce type de simulations est aujourd'hui hors de portée. Reste que si, comme de nombreux cosmologistes le défendent, il y a vraiment un ajustement fin des paramètres fondamentaux de l'univers assurant l'apparition de la vie – et pas seulement des trous noirs –, alors la sélection naturelle entre univers (envisagée par L. Smolin) n'en fournit pas de bonne explication. Il faut trouver autre chose.

Une alternative est celle des univers multiples. L'univers global, dont nous ne percevons qu'une infime partie, serait en

fait composé d'une multitude d'univers parallèles, la plupart ne donnant pas naissance à de la vie et causalement séparés du nôtre et les uns des autres. Nous n'avons pas à être étonnés de vivre dans un univers spécialement ajusté à la vie, car sinon nous n'existerions pas ! Ce mode de raisonnement controversé dénommé *principe anthropique* est examiné par C. Vidal, mais comme il se fonde sur l'idée des univers multiples qui est probablement impossible à tester, il ne séduit pas C. Vidal, qui introduit et défend une variante de l'idée de L. Smolin : la sélection artificielle d'univers.

Effet de sélection

Si, comme on l'a déjà envisagé plus haut, il existe (ou existera) des civilisations maîtrisant les composants ultimes de l'univers (donc de niveau III sur l'échelle de Kardashev, et au moins V sur l'échelle de Barrow), pour quoi ne pas imaginer qu'arrivé à un certain stade de développement, une civilisation crée des trous noirs – et donc des univers – dont elle décide les paramètres. Pour lutter contre leur disparition inéluctable (du fait de la mort thermique ou d'une autre sinistre conséquence cosmologique des structures de leur univers), de telles civilisations pourraient souhaiter créer des univers favorables à la vie, et peut-être même plus favorables à la vie que ne l'est leur univers. La sélection darwinienne de L. Smolin, incapable d'expliquer la vie, serait alors remplacée par une forme de sélection artificielle comme celle pratiquée par l'humanité depuis des millénaires et qui a conduit à des espèces végétales et animales adaptées à nos désirs.

Une telle sélection artificielle entre univers n'est pas en mesure d'expliquer complètement l'ajustement fin des paramètres (qui aurait créé le premier univers où la vie a été possible ?), mais constitue, parmi d'autres, une idée qu'il faut prendre en considération pour envisager le futur lointain.

Les exercices intellectuels proposés par le livre de Vidal, sont un sommet inégalé de liberté et de rigueur (autant qu'elle est possible), dans un domaine où la science et le rêve semblent s'accorder et dialoguer passionnément.

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE est professeur émérite à l'Université de Lille et chercheur

au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

BIBLIOGRAPHIE

C. Vidal, *The Beginning and the End. The Meaning of Life in a Cosmological Perspective*, Springer, 2014.

R. Carrigan, *IRAS-based whole-sky upper limit on Dyson spheres*, *Astrophys. Journal*, vol. 698, pp. 2075-2086, 2009.

J. Barrow *et al.*, *Fitness of the Cosmos for Life*, Cambridge University Press, 2008.

L. Krauss et G. Starkman, *Life, the universe, and nothing: Life and death in an ever-expanding universe*, *Astrophys. Journal*, vol. 531, pp. 22-20, 2000.

J. Barrow, *Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits*, Random House, 1999.

L. Smolin, *The Life of the Cosmos*, Oxford University Press, 1997.

N. S. Kardashev, *Transmission of information by extraterrestrial civilizations*, *Soviet Astronomy*, vol. 8, pp. 217-221, 1964.

F. Dyson, *Search for artificial stellar sources of infrared radiation*, *Science*, vol. 131, pp. 1667-1668, 1960.



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr

SCIENCE & FICTION

Ces mondes glacés qui hébergeraient la vie

Certaines planètes glacées de la science-fiction ressemblent à la Terre il y a des millions d'années, voire à des lunes glacées qui abritent peut-être des formes de vie encore inconnues.

Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

À l'heure où l'épisode VII de la saga *Star Wars* est en cours de tournage, revenons sur l'épisode V, *L'Empire contre-attaque* (Kershner et Lucas, 1980). Au début du film, l'alliance rebelle s'est réfugiée sur la planète Hoth située dans la Bordure Extérieure. C'est à la surface glacée de cette planète hostile, sans cesse fouettée par de violents blizzards, que les Rebelles ont construit une base secrète – finalement prise d'assaut par les forces de Dark Vador.

Pour les géologues, la planète Hoth, aussi fictive soit-elle, n'est pas sans rappeler la Terre d'il y a plus de 650 millions d'années. En effet, d'après le célèbre modèle nommé *snowball earth* en anglais (Terre boule de neige, qu'il serait plus juste de remplacer par Terre boule de glace), la Terre aurait subi plusieurs épisodes de glaciation plus ou moins intenses il y a entre 850 et 635 millions d'années, une ère nommée Cryogénien. Si l'idée d'une glaciation globale a d'abord été avancée par le géologue australien – et grand explorateur de l'Antarctique – Douglas Mawson en 1949, le modèle « Terre boule de glace » a été largement développé et argumenté par les géologues américains Joseph Kirschvink et Paul Hoffman dans les années 1990, pour expliquer la présence de roches sédimentaires (les diamictites) d'origine glaciaire, à des latitudes proches de celles de l'équateur.

S'il est assez consensuel, ce modèle est cependant discuté par des géophysiciens



1. LE TAUNTAUN est un animal imaginaire qui vit sur la planète Hoth dans la saga *Star Wars*. Grâce à sa fourrure épaisse, il est adapté au froid de la planète.

qui pensent que la Terre n'aurait pas pu sortir d'une situation glacée aussi stable, ou que la quantité d'eau n'était pas suffisante pour recouvrir toute la surface terrestre d'une couche de glace continue. Les débats se concentrent sur la superficie et l'extension de cette hypothétique croûte de glace.

Notons qu'au Cryogénien, les océans terrestres abritent déjà quantité d'algues et de bactéries, mais aucune vie n'est encore présente sur le supercontinent de l'époque, la Rodinia. Ce n'est pas le cas de la planète Hoth qui, pour les besoins cinématographiques, est peuplée d'animaux plus complexes tels les wampas, sortes de yétis au pelage blanc, et dont un spécimen s'attaque au héros Luke Skywalker.

Le film suggère aussi que ces prédateurs carnivores se nourrissent d'autres animaux, les tauntauns, des bipèdes cornus domestiqués par les Rebelles qui les utilisent comme montures. L'écosystème de Hoth est donc plus complexe que celui de la Terre au Cryogénien. Sur Terre, il faut attendre la fin du Silurien, il y a 420 millions d'années environ, pour voir apparaître les premiers réseaux trophiques continentaux : ceux-ci sont alors composés de plantes et d'arthropodes terrestres (mille-pattes, proto-scorpions, etc.), auxquels s'ajoutent les fameux stégocéphales (amphibiens fossiles) au début du Carbonifère, il y a 360 millions d'années environ.

Sur Hoth, les wampas mangent les tauntauns, mais que mangent ces derniers ? Probablement de l'herbe, ce qui trahirait la



SOUS LA CALOTTE DE GLACE d'une planète, un océan pourrait héberger de drôles de formes de vie comme cet étrange «poisson» bioluminescent : cette espèce imaginaire est inspirée de la faune abyssale connue sur Terre.

présence de steppes et donc que la glaciation de Hoth ne serait que partielle. Cette question s'applique aussi à la Terre boule de glace.

Autre remarque sur les tauntauns : ces herbivores ont le sang chaud. En effet, pour éviter que Luke Skywalker ne tombe en hypothermie et ne meure de froid, Han Solo, alors pris dans un blizzard, sacrifie sa monture et glisse son ami dans la dépouille encore chaude en attendant les secours.

Avec de tels êtres évoquant des mammifères, la faune de Hoth rappelle plutôt celle de la dernière glaciation terrestre (il y a entre 110 000 et 10 000 ans) où des rhinocéros laineux côtoyaient des mammoths, et où des chasseurs-cueilleurs pouvaient joindre à pied l'Eurasie et l'Amérique du Nord grâce à une calotte glaciaire qui recouvrait alors toute une partie de l'hémisphère Nord.

Les animaux de la planète Hoth, avec leur sang chaud et leur fourrure, semblent donc bien adaptés aux températures extrêmes. Ce n'est pas forcément le cas des monstres peuplant d'autres planètes glacées de la science-fiction : ainsi, dans le film *Star Trek* de J. J. Abrams (2009), James Kirk se retrouve sur la très froide planète Delta Vega. Il devient vite la proie d'un énorme prédateur amphibie qui transperce la glace et le pourchasse avec ses longues pattes. On peut se demander comment ce monstre à peau nue est capable de supporter des températures aussi basses, que ce soit dans l'eau ou sur la banquise. Une réponse possible est que l'activité métabolique

produit de la chaleur, dégagée dans le volume du corps et évacuée par la surface. Comme le volume augmente avec la taille plus vite que la surface, un animal de grande taille peut avoir une température interne supérieure à l'extérieure. Ce phénomène est envisagé pour certains grands dinosaures et nommé «homéothermie de masse» ; mais il est difficilement compatible avec les longues excroissances mobiles du monstre de Delta Vega.

Un corps glacé bien réel

Le Système solaire contient plusieurs corps glacés, comme Europe, une lune de Jupiter dont la température de surface avoisine -150°C . Environ quatre fois plus petit que la Terre, ce satellite est entièrement recouvert d'une croûte de glace dont l'épaisseur est estimée à quelques dizaines de kilomètres. Cette calotte glaciaire couvrirait un océan liquide profond d'environ 90 kilomètres. De nombreux indices confirment l'hypothèse d'eau liquide. En surface, la glace striée et craquelée présente de nombreuses lignes, sortes de dépressions rectilignes interprétées comme des fossés d'effondrement. Ces structures témoigneraient d'une «tectonique» glaciaire importante et active, comme c'est le cas de la banquise terrestre qui bouge sur l'océan. Par ailleurs, des geysers d'eau ont été récemment détectés sur Europe. On retrouve une structure similaire sur Encelade, une lune de Saturne.

Comme ces deux satellites sont petits, l'eau n'atteindrait pas une pression suffisante pour devenir solide en profondeur. Le fond de l'océan serait alors en contact avec un manteau silicaté. À cette interface, une chimie complexe pourrait se développer, renforçant l'espoir – loin d'être confirmé – que des formes de vie dites extrémophiles, comparables à celles que l'on trouve dans les dorsales océaniques terrestres ou dans les lacs subglaciaires d'Antarctique, pourraient apparaître. Pour bon nombre d'exobiologistes, Europe et Encelade sont les meilleurs candidats à la présence de vie dans le Système solaire. Un nouveau programme rassemblant les agences spatiales européenne, américaine, japonaise et russe, est envisagé à l'horizon de 2020 pour explorer les lunes glacées de Jupiter. La dernière sonde en date ayant visité Jupiter et ses satellites est *Galileo*, restée en orbite autour de la géante gazeuse entre 1995 et 2003.

Et si les premiers êtres extraterrestres n'étaient pas les Martiens mais les Européens ? La science-fiction s'est, bien sûr, déjà emparée de la question : dans le récent *Europa Report*, film de l'Équatorien Sebastián Cordero (2013), les survivants d'une mission internationale explorant l'océan subglaciaire du satellite font une terrible découverte...

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

ART & SCIENCE

Algorithmes psychédéliques

Grâce aux théories d'Alan Turing sur la morphogenèse, l'Australien Jonathan McCabe crée des œuvres spectaculaires qui évoquent, entre autres, des intérieurs de cellules.

Loïc MANGIN

En 1952, Alan Turing publiait un article intitulé *The chemical basis of morphogenesis* [Les Fondements chimiques de la morphogenèse]. Il y proposait des mécanismes de formation de motifs et de formes chez les animaux et les plantes à partir d'une simple équation, celle dite de réaction-diffusion. Schématiquement, des substances diffusent dans un milieu et interagissent via des réactions d'inhibition et d'activation. Les rayures du tigre, les taches de la girafe, les motifs des coquillages, la disposition des feuilles sur une tige et même la formation des doigts s'expliqueraient par le modèle de Turing.

Les biologistes ne sont pas les seuls à avoir exploité ses vertus. Physiciens et géologues se le sont également approprié, mais aussi les artistes. C'est le cas de Jonathan McCabe, qui vit à Canberra, en Australie. Ses œuvres, qui ressemblent à des coupes tissulaires, à des intérieurs de cellules ou à des motifs iridescents dont sont parés poissons et lézards (voir la page ci-contre), sont forgées à l'aide des équations de Turing.

Cette technique relève de l'art dit génératif. De quoi s'agit-il ? Pour s'en revendiquer, l'artiste doit utiliser un système autonome qui, en dehors de toute intervention humaine, « décide » d'une œuvre ou au moins de cer-

taines de ses composantes. Le système est souvent un algorithme informatique (c'est le cas pour J. McCabe), mais des artistes utilisent des processus biologiques, des contraintes mathématiques, des robots...

Des fugues de Bach, les *Cut-up* de William Burroughs (un texte est découpé et réarrangé), les ouvrages du mouvement Dada et de l'Oulipo sont autant d'exemples d'art génératif.

J. McCabe a remplacé les cellules des êtres vivants par des pixels dont la couleur est définie par le programme qu'il a mis au point. De la même façon que les réactions chimiques dans une cellule influent sur celles des voisines, l'état d'un pixel dépend de celui de son environnement.

Les premières œuvres de l'Australien étaient simples, en noir et blanc. Puis, en superposant (virtuellement) les processus de Turing, il a obtenu des motifs complexes, multi-échelles, où de larges bandes constituées de petits points coexistent avec des tourbillons multicolores. Lorsqu'un motif – au départ imprévisible – lui plaît, J. McCabe ajoute parfois un algorithme supplémentaire, dit génétique, pour obtenir des variations sur un même thème. ■

J. McCormack et al., *Ten questions concerning generative computer art*, *Leonardo*, vol. 47, n° 2, pp. 135-141, 2014.

Œuvres de J. McCabe : <http://bit.ly/PLS-McCabe>

Des fugues de Bach, les *Cut-up* de Burroughs, les textes Dada et de l'Oulipo... sont autant d'exemples d'art génératif.

